

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 587 375

⑫ N° d'enregistrement national :

85 13623

⑭ Int Cl⁴ : D 04 H 3/00; B 65 H 81/00; C 04 B 35/14,
35/71.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 13 septembre 1985.

⑯ Priorité :

⑰ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 12 du 20 mars 1987.

⑱ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑲ Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE, Etablissement de caractère scientifique, tech-
nique et industriel. — FR.

⑳ Inventeur(s) : Pierre Charrue et Serge Durand.

㉑ Titulaire(s) :

㉒ Mandataire(s) : Brevatome.

㉓ Mandrin pour la fabrication complète de pièces creuses comportant une armature multidirectionnelle et procédé de fabrication d'une telle pièce à l'aide de ce mandrin.

㉔ Pour fabriquer des pièces creuses par implantation de picots sur un mandrin, mise en place de fils selon au moins deux directions différentes dans des couloirs formés entre les picots, puis densification de la structure obtenue, on utilise un mandrin réalisé en un matériau dont la résistance à la compression est compatible avec les conditions d'implantation des picots et qui conserve son intégrité géométrique jusqu'à environ 700 °C au moins. Ce matériau est, de préférence, un matériau minéral tel que la silice. Il se présente sous la forme d'une mousse ou d'un feutre. Dans le cas d'un feutre, celui-ci est fixé sur un support interne par un adhésif résistant, de même que le support, à une température d'au moins environ 700 °C. L'utilisation de ce type de matériaux permet de fabriquer en totalité les pièces sur un même mandrin, même lorsque ces pièces sont portées à une température de 700 °C au moins, lors de leur densification.

FR 2 587 375 - A1

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

MANDRIN POUR LA FABRICATION COMPLETE DE PIECES CREUSES
COMPORTANT UNE ARMATURE MULTIDIRECTIONNELLE ET PROCEDE
DE FABRICATION D'UNE TELLE PIECE A L'AIDE DE CE MANDRIN

5 L'invention concerne principalement un
mandrin pour la fabrication complète de pièces creuses
comportant une armature constituée de fils s'étendant
selon au moins trois directions différentes. L'inven-
tion concerne également un procédé de fabrication
10 d'une pièce creuse de ce type au moyen d'un tel man-
drin.

Les pièces creuses constituées d'une armatur-
re de fils s'étendant selon au moins trois directions
différentes et d'un matériau de remplissage assurant la
densification de cette armature connaissent actuelle-
15 ment un essor important. Par "densification", on dési-
gne la ou les opérations permettant de remplir les vi-
des de l'armature, ce qui a pour effet d'en augmenter
la densité. L'essor des pièces ainsi réalisées est dû
en grande partie à leurs qualités de résistance mécani-
20 que et thermique dans toutes les directions. On utilise
notamment de telles pièces dans les secteurs automobi-
les et aéronautiques, par exemple pour la fabrication
d'éléments de freins et d'embrayage et pour la réalisa-
tion des parois des chambres à combustion et des pist-
25 tons des véhicules automobiles.

Pour réaliser de telles pièces, on a décrit
dans le brevet français n° 2 408 676 déposé le 23 sep-
tembre 1977 au nom du Commissariat à l'Energie Atomique
un procédé particulièrement intéressant notamment en
30 raison de sa facilité de mise en oeuvre et des grandes
possibilités qu'il offre aussi bien en ce qui concerne
les dimensions des pièces réalisées qu'en ce qui con-
cerne la densité des fils constituant l'armature de ces
pièces.

Ce procédé repose sur l'utilisation d'un mandrin support réalisé en un matériau apte à recevoir des picots par implantation directe par pression avec ou sans préperçage tel qu'une mousse à base de polyuréthane ou une mousse phénolique. Au cours d'une première opération, on plante sur ce mandrin des rangées de picots réalisés en un matériau textile filiforme prérigidifié par exemple par imprégnation d'une résine durcissable, de façon à délimiter entre les picots des couloirs longitudinaux et circonférentiels. On dispose ensuite par tramage et par bobinage des fils longitudinaux et circonférentiels dans les couloirs formés entre les picots, afin de réaliser des nappes successives superposées. La structure ainsi obtenue, constituée de fils entrelacés selon trois directions différentes, présente un certain pourcentage de vides dans lesquels on introduit ensuite un matériau de remplissage tel qu'une résine phénolique. En élevant la température jusqu'à environ 170°C, on polymérise la résine, ce qui permet d'assurer la rigidification de la structure et d'en compléter la densification. Le mandrin est alors éliminé par usinage.

Ce procédé connu repose principalement sur l'utilisation d'un mandrin support choisi essentiellement pour ses propriétés mécaniques. En effet, le matériau qui le constitue doit être assez rigide pour garantir un dimensionnement satisfaisant de l'intérieur de la pièce et une bonne tenue des picots implantés et suffisamment déformable pour permettre une implantation des picots sous l'effet d'une force limitée. Les mousses utilisées habituellement dans ce procédé doivent en outre supporter une élévation de température jusqu'à environ 170°C, correspondant à la polymérisation de la résine.

Cependant, les mousses à base de polyuréthane et les mousses phénoliques utilisées actuellement dans

la composition des mandrins ne résistent pas à des températures sensiblement plus élevées qui sont atteintes lors de la densification de la structure dans certains cas particuliers.

5 Un premier de ces cas particuliers concerne les procédés dans lesquels la densification de la structure est obtenue par pyrolyse d'une résine phénolique remplissant cette dernière. En effet, la pyrolyse de la résine nécessite un traitement thermique à environ 700°C qui n'est pas supporté par les mandrins en
10 mousse de polyuréthane ou en mousse phénolique.

 Un autre cas particulier concerne les procédés dans lesquels des brais de carbone fondant à haute température (800 à 900°C) sont utilisés pour assurer la
15 densification de la structure.

 Un troisième cas particulier dans lequel les mandrins actuels ne peuvent être utilisés tout au long du procédé décrit précédemment concerne la fabrication des pièces creuses dites "carbone-carbone", dans lesquelles les fils constituant la structure ainsi que le
20 matériau remplissant les vides de cette structure et assurant donc sa densification sont constitués par du carbone. En effet, quelle que soit la technique utilisée pour densifier la structure, il est toujours nécessaire d'élever la température nettement au-delà des
25 limites de températures supportées par les mandrins en mousse à base de polyuréthane ou en mousse phénolique. Cette remarque est illustrée notamment par la demande de brevet français n° 81 22 163 déposée le 26 novembre
30 1981 par le Commissariat à l'Energie Atomique qui décrit notamment, dans le cas de la fabrication d'une pièce "carbone-carbone", un procédé de densification nécessitant une élévation de la température jusqu'à environ 1100°C. On citera également le brevet français
35 n° 2 479 173 déposé le 28 mars 1980 par le Commissariat

à l'Energie Atomique et par l'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales, selon lequel la densification d'une pièce, notamment du type "carbone-carbone", est obtenue par injection de brais de carbone à haute température (600°C à 900°C) et sous haute pression.

Dans tous les cas qui viennent d'être cités et qui ne sont bien évidemment pas limitatifs, il n'est pas possible de réaliser actuellement la densification de la structure sur le mandrin ayant servi à l'implantation des picots, puis aux opérations de bobinage et de tramage des fils dans les couloirs formés entre ces picots. En effet, on ne dispose pas actuellement d'un mandrin présentant à la fois les propriétés mécaniques requises pour permettre une bonne implantation mécanique des picots et une résistance thermique suffisante pour atteindre des températures variant entre 700°C et plus de 1100°C.

Pour cette raison, lorsque de telles températures sont atteintes actuellement lors de l'étape de densification, il est d'usage d'éliminer le mandrin en mousse par usinage et de le remplacer par un mandrin réalisé en un autre matériau (par exemple métallique) résistant à cette température avant d'effectuer la densification.

Il apparaît immédiatement que cette nécessité de remplacer le mandrin au cours de la fabrication de la pièce pénalise sérieusement le procédé, d'une part en augmentant le coût et la durée, d'autre part en introduisant des problèmes techniques supplémentaires tels que ceux qui peuvent résulter notamment d'une dilatation différentielle entre la pièce et le mandrin utilisé lors de la densification.

La présente invention a précisément pour objet un mandrin présentant à la fois les qualités

mécaniques requises par la mise en oeuvre du procédé décrit dans le brevet français n° 2 408 676 et les qualités de résistance thermique permettant de réaliser l'ensemble du procédé sur ce même mandrin, même lorsque
5 la montée en température lors de l'étape de densification atteint ou dépasse 700°C.

A cet effet et conformément à l'invention, il est proposé un mandrin pour la fabrication complète de pièces creuses par implantation de picots sur le mandrin, mise en place de fils selon au moins deux directions différentes dans les couloirs formés entre les picots, puis densification de la structure ainsi obtenue sur le mandrin, ce mandrin étant caractérisé en ce
10 qu'il est constitué d'au moins un matériau présentant, au moins dans une zone périphérique, une résistance à la compression autorisant l'implantation des picots (par exemple comprise entre 1 MPa et 50 MPa), ce matériau conservant son intégrité géométrique jusqu'à une température d'au moins 700°C environ.

De préférence, le matériau utilisé est un matériau minéral tel que de la silice, de l'alumine, du carbone, du graphite, du nitrure de silicium, du carbure de tungstène ou de silicium. Parmi ces matériaux, on choisira de préférence la silice qui autorise une montée en température pouvant atteindre et même
20 dépasser largement 1100°C.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, le matériau se présente sous la forme d'une mousse, c'est-à-dire qu'il présente une structure poreuse ou alvéolaire. Si les dimensions de la pièce à réaliser l'exigent, le mandrin comprend au moins deux
30 blocs de mousse solidarisés par au moins une pièce de liaison interne sur laquelle les blocs sont collés au moyen d'une colle résistant également à une température d'au moins 700°C environ.

35 Selon un autre mode de réalisation de l'in-

vention, le matériau minéral se présente sous la forme d'un feutre, collé sur un support interne au moyen d'une colle résistant à une température d'au moins 700°C environ.

5 Le mandrin selon l'invention se caractérise essentiellement, comme on l'a vu, par le fait que ses caractéristiques mécaniques permettent l'implantation et le maintien des picots et par le fait qu'il peut supporter une température d'au moins 700°C environ. Ce
10 mandrin trouve donc une application privilégiée lorsqu'il est utilisé pour mettre en oeuvre le procédé décrit dans le brevet français 2 408 676, dans le cas où l'étape de densification de la structure constituant l'ossature de la pièce nécessite une montée en température supérieure ou égale à 700°C. Cette application
15 ~~n'est cependant pas limitative et on comprendra aisément qu'un tel mandrin peut aussi être utilisé pour la mise en oeuvre du procédé décrit dans le brevet français 2 408 676, même lorsque l'étape de densification~~
20 est réalisée sans que la montée en température n'atteigne 700°C. Cette remarque est valable notamment dans le cas où le mandrin selon l'invention est réalisée en silice. En effet, le coût de ce matériau est très inférieur à celui des mousses phénoliques utilisées
25 habituellement.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une pièce creuse, ce procédé comprenant de façon connue notamment du brevet français n° 2 408 676 les étapes suivantes :

- 30 - implantation de picots sur un mandrin, de façon à former entre les picots des couloirs s'étendant selon au moins deux directions différentes ;
- mise en place de fils dans les couloirs formés entre les picots, de façon à former des couches
35 de fils s'étendant alternativement selon chacune desdites directions ; et

- densification de la structure ainsi obtenue.

Conformément à l'invention, ce procédé se caractérise en ce que, lorsque l'étape de densification de la structure s'effectue à une température d'au moins 700°C environ, toutes les étapes sont effectuées au moyen d'un mandrin unique réalisé de la manière définie précédemment.

Préalablement à l'implantation des picots sur le mandrin, on donne à ce dernier la forme souhaitée soit par usinage, soit, dans le cas où le matériau constituant le mandrin se présente sous la forme d'un feutre, par formage.

Quelques exemples de mise en oeuvre de l'invention, vont maintenant être décrits, à titre illustratif et nullement limitatif.

Le procédé de fabrication de pièces creuses comportant une ossature de fils s'étendant selon au moins trois directions différentes se caractérise donc conformément à l'invention par le fait que la fabrication de la pièce s'effectue en totalité sur un mandrin unique, même lorsque la température s'élève au cours de cette fabrication jusqu'à 700°C ou plus.

De façon connue, la première étape de ce procédé consiste à planter dans la zone périphérique du mandrin, sur une profondeur d'environ 15 mm par exemple, des picots constitués de préférence par des fils de longueur et de diamètre déterminés, rigidifiés notamment par une imprégnation préalable d'une résine thermodurcissable. L'implantation des picots s'effectue soit directement, soit après avoir réalisé auparavant des perforations dans le mandrin. Dans l'un et l'autre cas, la force appliquée sur les picots pour effectuer l'implantation est limitée, notamment pour des picots de petit diamètre.

Les picots sont implantés sur le mandrin

selon un réseau donné, de façon à former entre eux des couloirs selon au moins deux directions différentes. Lorsque la pièce à réaliser est une pièce de révolution, les picots sont le plus souvent implantés radialement, de façon à former entre eux des couloirs longitudinaux et des couloirs circonférentiels.

Au cours de la deuxième étape du procédé, on dispose alternativement dans les couloirs ainsi formés entre les picots des couches d'un ou plusieurs fils orientés alternativement selon les directions définies par ces couloirs. Dans le cas particulier de la fabrication d'une pièce de révolution, on dispose donc alternativement des couches de fils dans les couloirs longitudinaux et dans les couloirs circonférentiels formés entre les picots. Une machine permettant de réaliser ces opérations est décrite en détail dans le brevet français n° 2 315 562. Il est à noter qu'au cours de ces opérations, les picots doivent être maintenus de façon suffisamment rigide par le mandrin pour que leur orientation ne soit pas modifiée au point d'empêcher la mise en place des fils.

Les fils qui constituent les picots, de même que les fils qui sont placés dans les couloirs formés entre ces picots, peuvent être aussi bien des fils que des filaments, des fibres ou des mèches. De plus, selon la destination de la pièce à réaliser, ces fils peuvent être réalisés en graphite, en carbone, en verre, en silice, en polyamide, en polyimide, etc...

Lorsqu'un nombre de couches de fils satisfaisant a été placé dans les couloirs formés entre les picots, on obtient autour du mandrin une structure formée de fils s'étendant selon au moins trois directions différentes et constituant l'ossature de la pièce à réaliser. Cette structure se présente sous la forme d'un réseau de fils formant entre eux des vides répar-

tis dans toute l'épaisseur de la structure.

La dernière étape du procédé, dite de densification, a justement pour objet de remplir les vides de cette structure afin d'en accroître la densité et de la rigidifier.

Selon la pièce à réaliser, cette étape de densification exige une montée en température qui peut être très variable. Ainsi, lorsque la densification s'effectue en injectant une résine dans la structure, puis en polymérisant cette résine, la montée en température ne dépasse pas 170°C environ.

Au contraire, lorsque l'étape de densification exige la pyrolyse de la résine phénolique, la température s'élève à environ 700°C. De même, lorsque la densification s'effectue par injection de brais de carbone, cette injection s'effectue sous haute pression et à une température comprise entre 600°C et 900°C. Enfin, lorsque la densification s'effectue par décomposition d'un hydrocarbure liquide tel que du cyclohexane à l'intérieur de la structure, la montée en température peut atteindre 1000°C à 1300°C.

Conformément à l'invention, si l'on veut que l'étape de densification soit réalisée sans retirer la structure du mandrin sur lequel on a réalisé au préalable l'implantation des picots et le dépôt des fils en couches successives, même dans le cas où cette étape de densification s'effectue à haute température, le mandrin doit satisfaire à des conditions de résistance mécanique et thermique contradictoires.

En premier lieu, afin que l'implantation des picots dans le mandrin ainsi que le maintien des picots puissent se faire de façon satisfaisante, la résistance à la compression σ_R doit être compatible avec les conditions d'implantation des picots.

La deuxième condition que doit nécessaire-

ment remplir le mandrin est qu'il doit conserver son intégrité géométrique jusqu'à une température d'au moins 700°C environ.

5 Par ailleurs, la masse volumique ρ du mandrin est de préférence inférieure à 0,5 et son coefficient de dilatation α , de préférence inférieur à $100.10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ dans les conditions de températures considérées, c'est-à-dire par exemple entre 0 et environ 700°C.

10 Enfin, le rapport des modules d'élasticité E du mandrin à la température maximum atteinte lors de la densification (par exemple à 700°C) et à la température ambiante (c'est-à-dire à environ 20°C) est, de préférence, supérieur à 0,5.

15 Une première famille de matériaux satisfaisant ces conditions concerne les mousses minérales ou non organiques. Parmi ces mousses, on citera principalement les mousses de silice. Ces mousses peuvent notamment être
20 fabriquées à partir de silice vitreuse obtenue par électrofusion (taux de SiO_2 supérieur ou égal à 99,5%). Elles sont élaborées en incorporant un agent pyrophore chimique dans une barbotine. Le mélange est ensuite coulé, puis cuit au four, sous forme de blocs. Des mousses de ce type sont commercialisées notamment par la Société
25 Cotronics sous l'appellation "mousse 310 type 1" et par la Société Vesuvius sous l'appellation "mousse glasrock 50".

30 Les qualités de résistance mécanique de ces mousses de silice s'améliorent jusqu'à 800°C environ et elles peuvent encore être utilisées jusqu'à environ 1100°C. En outre, leur densité finale est de l'ordre de 0,5. De plus, avec ces mousses, la force nécessaire à l'implantation d'un picot de 1 mm de diamètre n'excède pas environ 15 N, ce qui est très inférieur à la limite
35 fixée par la machine d'implantation.

La mousse de silice se présente sous la forme de blocs dans lesquels le mandrin peut être réalisé directement par usinage, par exemple au tour, dans le cas de la fabrication d'une pièce de révolution.

5 Lorsque les dimensions et notamment la longueur de la pièce à réaliser excèdent les dimensions des blocs de mousse disponibles, il est possible de fabriquer le mandrin en plaçant bout à bout deux ou plusieurs blocs.

10 Ces blocs ne peuvent toutefois pas être collés directement bout à bout. En effet, l'adhésif qui doit être utilisé doit également résister à une température d'au moins 700°C environ. Or, un tel adhésif est beaucoup plus dur que la mousse de silice et ne permettrait pas d'implanter des picots au milieu du joint

15 séparant deux blocs.

Pour cette raison, il est proposé de percer un alésage central dans chacun des blocs, de ménager une ou plusieurs rainures longitudinales à l'intérieur

20 de cet alésage et de relier les différents blocs en plaçant dans ces rainures des pièces internes de liaison se présentant sous la forme de clavettes. Ces clavettes peuvent être réalisées également en mousse de silice ou en tout autre matériau résistant à la température d'au moins 700°C environ. Les clavettes sont

25 fixés dans les rainures à l'aide d'une colle ou d'un ciment résistant également à cette température. On utilise par exemple à cet effet une colle constituée d'une charge d'alumine et d'un liant minéral.

30 L'usinage externe du mandrin s'effectue ensuite à l'aide d'un outil de coupe, par enlèvement de matière dans les blocs de silice.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, on utilise pour réaliser la zone périphérique du

35 mandrin, dans laquelle s'effectue l'implantation des

picots, un matériau minéral ou non organique (silice, alumine, etc...) se présentant sous la forme d'un feutre. Un tel feutre est commercialisé sous forme de nappes dont l'épaisseur varie généralement de 6 mm à 25 mm. Ce matériau, qui se présente initialement sous forme humide et donc maléable, devient rigide et conserve sa forme initiale après cuisson par étuvage ventilé à environ 80°C pendant au moins 48h. Ses caractéristiques mécaniques et thermiques sont alors équivalentes à celles des mousses en matériaux minéraux.

Conformément à l'invention, on utilise de préférence un feutre constitué de fibres de silice et d'un liant minéral constitué par exemple d'un mélange de silicates. Un tel feutre autorise une montée en température jusqu'à 1100°C au moins. On peut utiliser aussi un feutre composé de fibres d'alumine imprégnés d'un liant minéral. Un tel feutre supporte en continu une température d'environ 1650°C et peut supporter temporairement une température proche de 2000°C.

En pratique, la nappe de feutre est placée sur un support interne réalisé en un matériau satisfaisant également aux conditions de tenue mécanique et thermique imposées par le procédé. Il peut s'agir notamment d'un ciment ou de tout autre matériau réfractaire de structuration, ou encore d'un grillage rigide ou de tout autre support métallique réalisé en un matériau tel que l'acier "Invar" à faible coefficient de dilatation.

Le feutre est fixé sur le support interne au moyen d'un adhésif choisi de façon à résister également à la température d'utilisation, c'est-à-dire à une température d'au moins 700°C environ. A cet effet, on utilisera par exemple un adhésif constitué d'une charge d'alumine et d'un liant minéral, résistant en continu à une température d'environ 1650°C.

Comme la mousse de silice, le feutre minéral peut être usiné après cuisson par des procédés d'usinage classiques, pour donner à l'extérieur du mandrin la forme souhaitée.

5 La forme extérieure du mandrin peut aussi être obtenue par conformage, ou par moulage sous pression. En effet, le feutre se prête bien à ce type de formage.

10 Un autre avantage de l'utilisation d'un matériau sous forme de feutre concerne le caractère très maléable de celui-ci lorsqu'il est sous forme humide. On peut ainsi réaliser des ébauches de géométrie complexe et de grande dimension. En particulier, la fabrication de pièces ne présentant pas de symétrie de révolution est facilitée par l'utilisation d'un mandrin réalisé de cette manière.

15 Enfin, il est à noter que l'utilisation de feutre de silice permet de réduire le coût du mandrin de façon très sensible par rapport aux mandrins existant actuellement. Cette caractéristique justifie l'emploi d'un tel mandrin même dans le cas où la température atteinte lors de l'étape de densification est suffisamment basse pour permettre l'utilisation d'un mandrin classique en mousse à base de polyuréthane ou en mousse phénolique.

20 En conclusion, il est maintenant possible grâce au mandrin selon l'invention de réaliser sur un mandrin unique l'ensemble des opérations de fabrication de pièces creuses à ossature multidirectionnelle, même dans le cas où l'étape de densification s'effectue à
25
30 une température d'au moins 700°C environ.

REVENDEICATIONS

1. Mandrin pour la fabrication complète de
pièces creuses par implantation de picots sur le man-
drin, mise en place de fils selon au moins deux direc-
5 tions différentes dans des couloirs formés entre les
picots, puis densification de la structure ainsi
obtenue sur le mandrin, ce mandrin étant caractérisé en
ce qu'il est constitué d'au moins un matériau présen-
tant, au moins dans une zone périphérique, une résis-
10 tance à la compression autorisant l'implantation des picots,
ce matériau conservant son intégrité géométrique jus-
qu'à une température d'au moins 700°C.

2. Mandrin selon la revendication 1, caracté-
risé en ce que ledit matériau est un matériau minéral.

3. Mandrin selon la revendication 2, caracté-
risé en ce que ledit matériau minéral est la silice.

4. Mandrin selon l'une quelconque des reven-
dications 2 et 3, caractérisé en ce que ledit matériau
minéral se présente sous la forme d'une mousse.

5. Mandrin selon la revendication 4, caracté-
risé en ce qu'il comprend au moins deux blocs de mousse
solidarisés par au moins une pièce de liaison interne
sur laquelle lesdits blocs sont collés au moyen d'une
colle résistant à une température d'au moins 700°C
25 environ.

6. Mandrin selon l'une quelconque des reven-
dications 2 et 3, caractérisé en ce que ledit matériau
minéral se présente sous la forme d'un feutre, collé
sur un support interne au moyen d'une colle résistant à
une température d'au moins 700°C environ.

7. Procédé de fabrication d'une pièce creuse,
comprenant les étapes suivantes :

- implantation de picots sur un mandrin, de
façon à former entre les picots des couloirs s'étendant
selon au moins deux directions différentes ;

- mise en place de fils dans les couloirs formés entre les picots, de façon à former des couches de fils s'étendant alternativement selon chacune desdites directions ; et

5 - densification de la structure ainsi obtenue à une température d'au moins 700°C environ, caractérisé en ce que toutes lesdites étapes sont effectuées au moyen d'un mandrin unique réalisé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

10 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que, préalablement à l'implantation des picots, on usine le mandrin pour lui donner la forme souhaitée.

15 9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que, préalablement à l'implantation des picots, on effectue un formage du mandrin, pour lui donner la forme souhaitée.

